

Energia Maremotriz

PEN 5002 - Recursos e Oferta de Energia

Gabriel Maciel Bastos
Pietro Salomão
Vitor Luis Andrade

Panorama mundial

Geração Global de Eletricidade

A geração acumulada proveniente de projetos demonstrativos e fazendas de energia oceânica na Europa foi de **≈106 GWh em 2024** (OCEAN ENERGY EUROPE, 2024).

Essa produção é operacionalmente contínua, mas ainda reduzida em escala comparada às fontes renováveis convencionais, indicando um estágio experimental e pré-comercial significativo (IRENA, 2024).

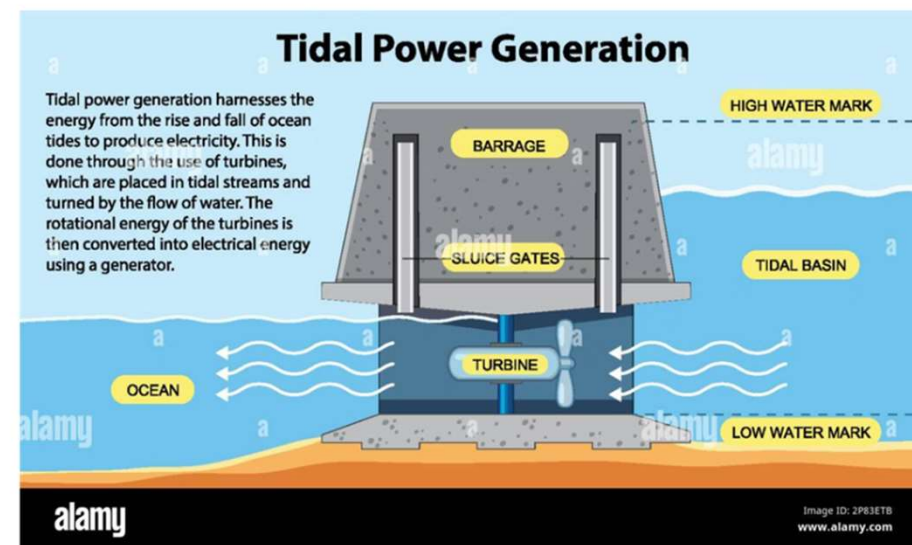
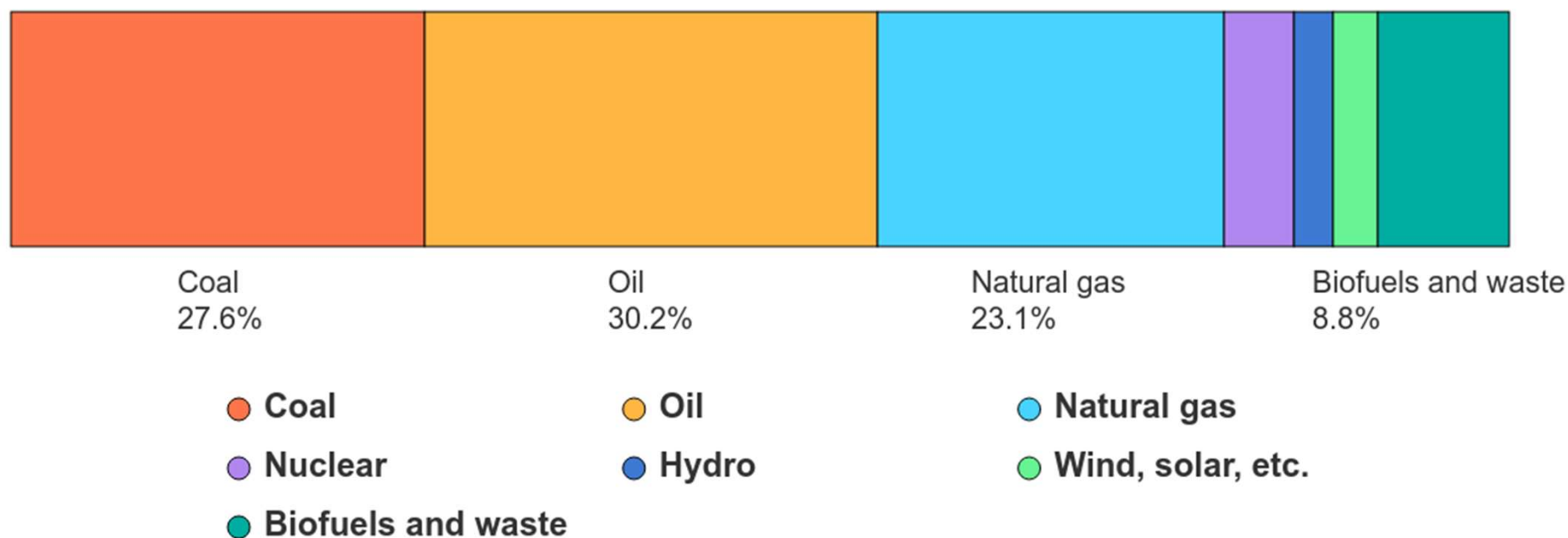


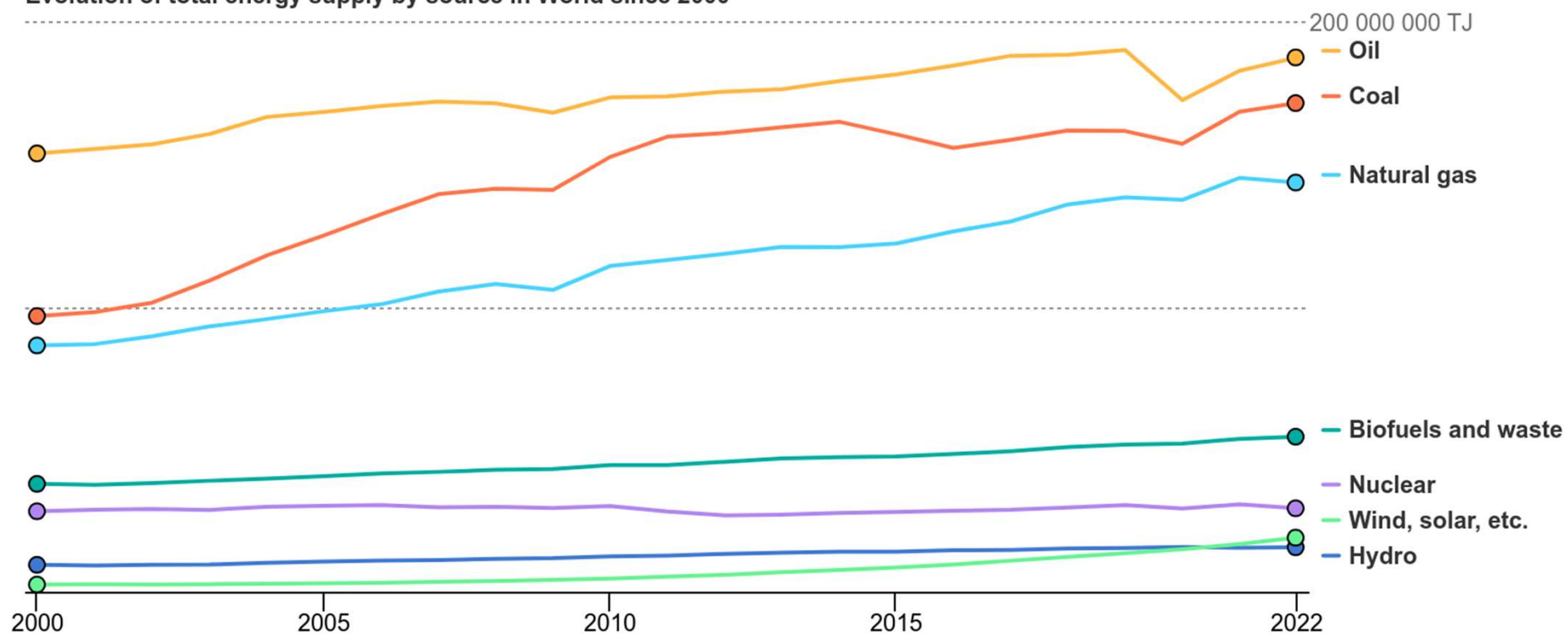
Figura — Produção acumulada de energia oceânica na Europa (GWh, 2024). Fonte: OCEAN ENERGY EUROPE. Ocean Energy Stats & Trends 2024, p.6.

Total energy supply by source, World, 2022



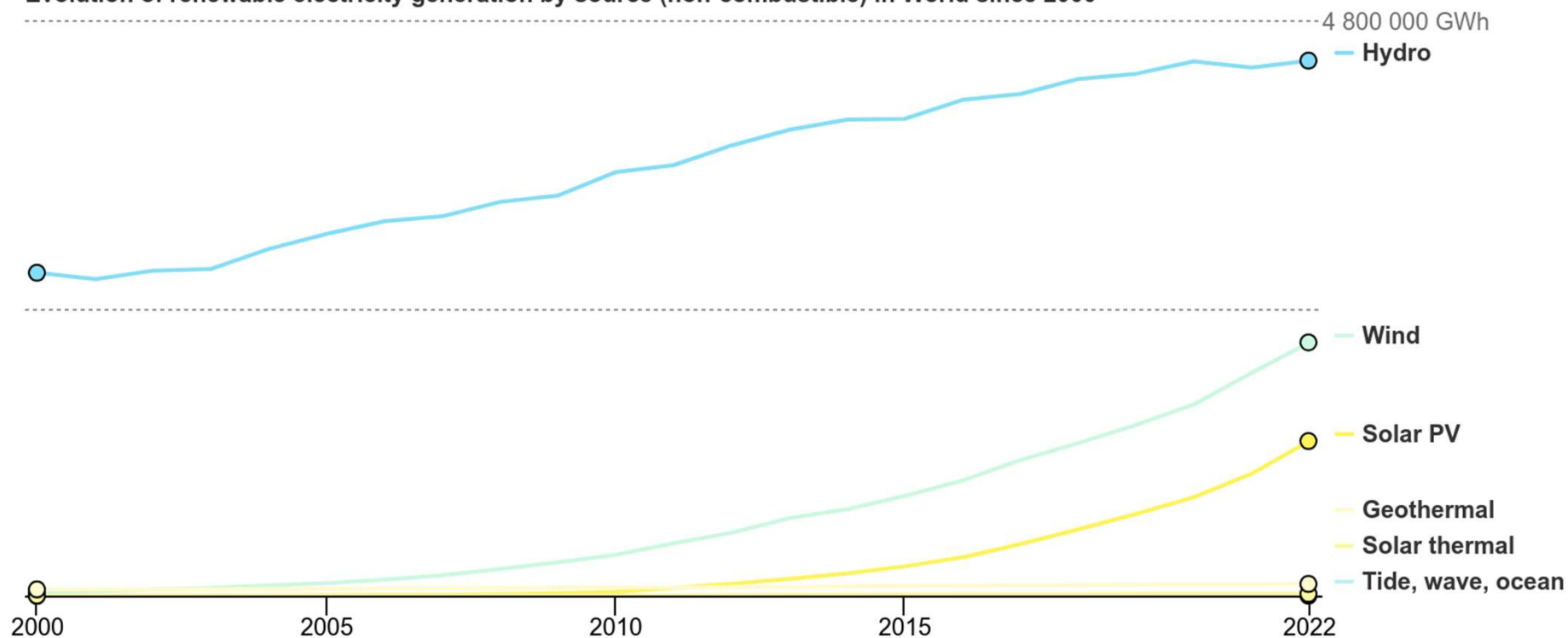
Source: International Energy Agency. Licence: CC BY 4.0

Evolution of total energy supply by source in World since 2000



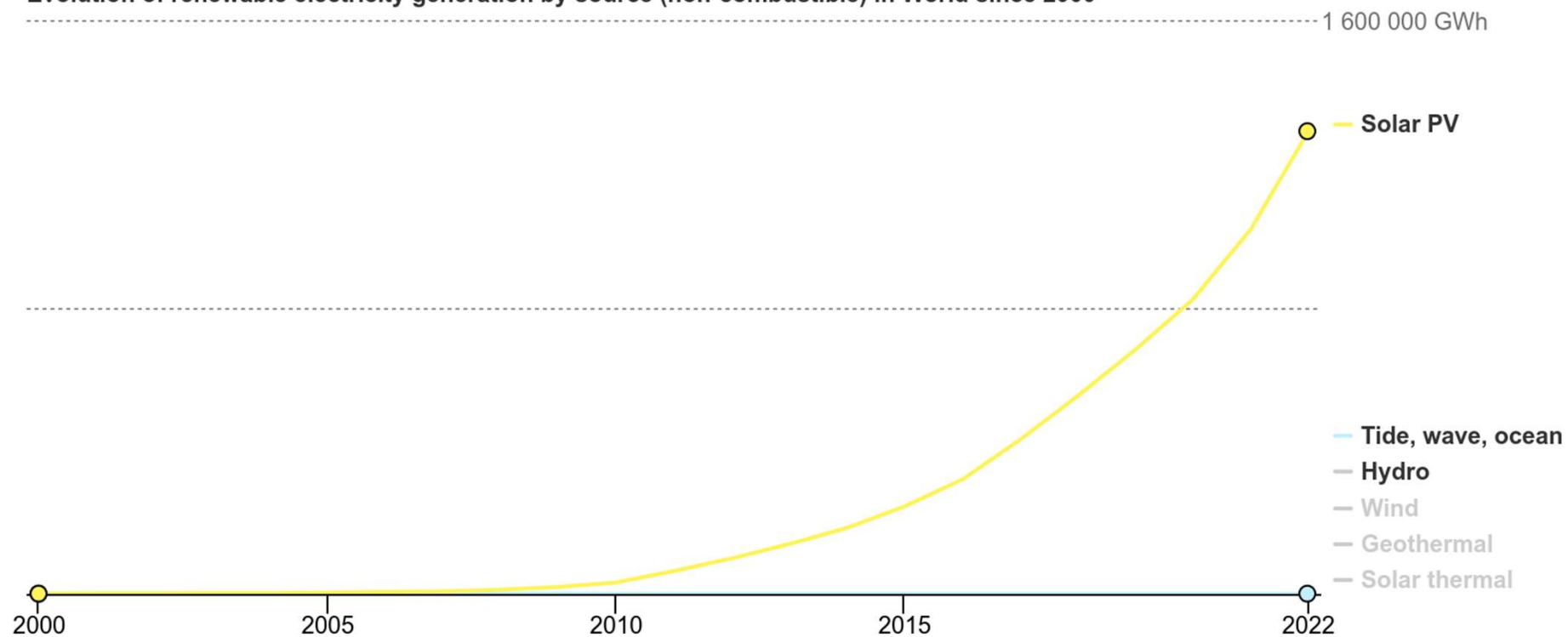
Source: International Energy Agency. Licence: CC BY 4.0

Evolution of renewable electricity generation by source (non-combustible) in World since 2000



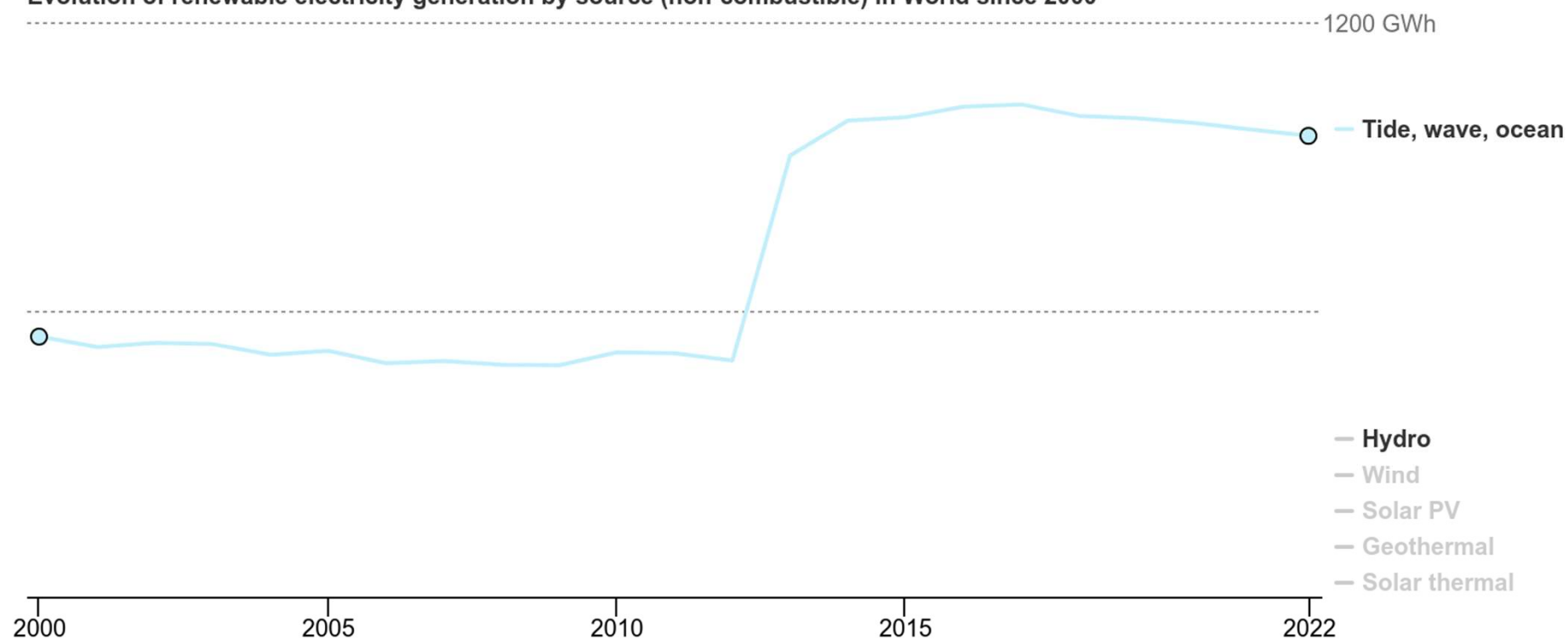
Source: International Energy Agency. Licence: CC BY 4.0

Evolution of renewable electricity generation by source (non-combustible) in World since 2000



Source: International Energy Agency. Licence: CC BY 4.0

Evolution of renewable electricity generation by source (non-combustible) in World since 2000



Source: International Energy Agency. Licence: CC BY 4.0

Capacidade Total Instalada

A capacidade operacional global de tecnologias oceânicas foi estimada em **≈513 MW em 2023**, maioritariamente concentrada em duas grandes barragens:

- La Rance (França, ≈240 MW) (EDF, 2024)
- Sihwa (Coreia do Sul, ≈254 MW) (EIA, 2025)

Essa capacidade representa uma fração muito pequena da capacidade renovável global, que soma centenas de GW em fontes como solar e eólica (REN21; IRENA, 2024).



Mercado Global Estimado

Relatórios de mercado apontam estimativas de faturamento base em 2023/2024 na ordem de **US\$0,9–1,3 bilhões**, com projeções de crescimento que variam amplamente.

Essas projeções indicam um CAGR entre **~20% e >30%** em muitos estudos comerciais, com estimativas de mercado atingindo entre **~US\$4,5 bilhões e >US\$19 bilhões até 2030–2033**, dependendo das hipóteses e fontes (GRAND VIEW RESEARCH; POLARIS; FORTUNE, 2023–2024).

☐ Trate essas cifras como uma **faixa estimada**, não como estatística governamental consolidada. A alta variância é devido à imaturidade do mercado e à inclusão de toda a cadeia de suprimentos (Grand View Research; IRENA, 2024).

Figura — Projeções de mercado para wave & tidal energy (exemplo de relatório comercial). Fonte: GRAND VIEW RESEARCH. Wave and Tidal Energy Market — Forecast, 2024.

Tecnologias e Exemplos Operacionais

Barragens Maremotrizes

La Rance (FR) e **Sihwa (KR)** são exemplos históricos de grande capacidade e geração previsível, demonstrando a viabilidade de projetos em larga escala (EDF; EIA, 2011–2024).

Tidal Stream (Turbinas de Corrente)

Dispositivos como **MeyGen (UK)** já demonstraram operação em rede, com turbinas submersas que apresentam grande potencial de escala offshore, sendo uma das tecnologias mais promissoras (OCEAN ENERGY EUROPE, 2024).

Conversores de Ondas (WECs) e "Kites"

Múltiplos conceitos estão em fase de teste. A capacidade de redução de custos por meio do aprendizado na prática (learning-by-doing) e da operação e manutenção será determinante para a viabilidade de parques comerciais (IRENA; OEE, 2024).

Fatores Críticos para a Expansão



Políticas Públicas

Apoio governamental e regulamentação claras são essenciais para incentivar investimentos e reduzir riscos para desenvolvedores e investidores.



Contratos de Receita

Mecanismos de garantia de preço e contratos de longo prazo (como Contracts for Difference - CfDs) podem atrair financiamento e estabilizar projetos.



Redução de Custos

A padronização de equipamentos, a otimização de processos e a escala de produção são cruciais para tornar a energia maremotriz competitiva com outras fontes.

A superação desses desafios depende de um esforço conjunto entre governos, indústria e academia para acelerar o desenvolvimento e a comercialização da tecnologia.

América Latina

Regiões potenciais de geração

b)



- Chile: Maiores velocidades de correntes de maré e fiordes do sul do Chile com batimetrias estreitas
- Canal de Chacao (Norte da Patagônia Chilena) - Velocidade de fluxo de 4,5 m/s
- Estreito de Magalhães: Velocidade de fluxo de 4,5 m/s
- Estuário do Rio da Prata: Indicativo de batimetrias favoráveis

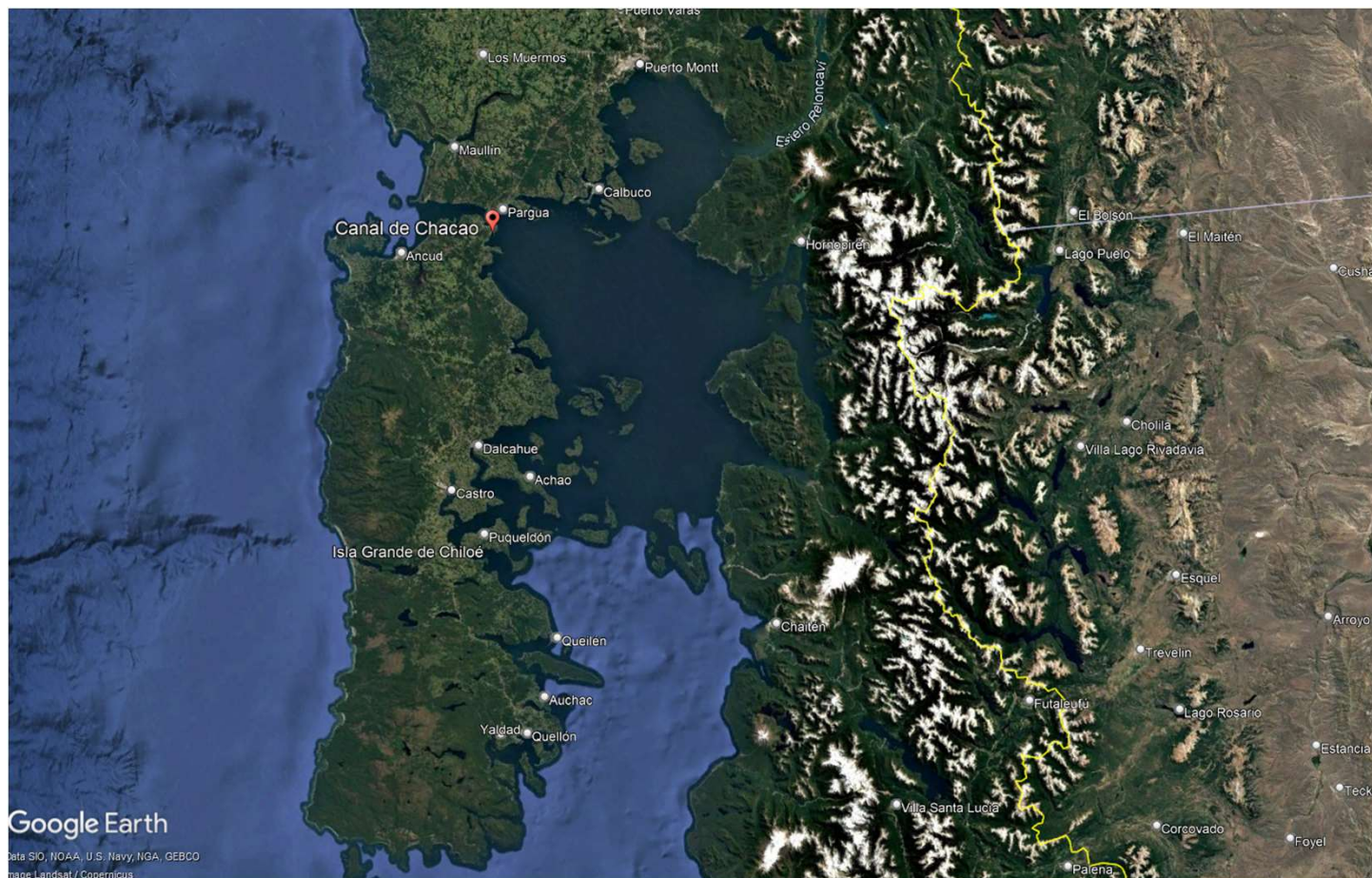


Fonte: Vogel et. al, 2019.

Fonte: Google Earth

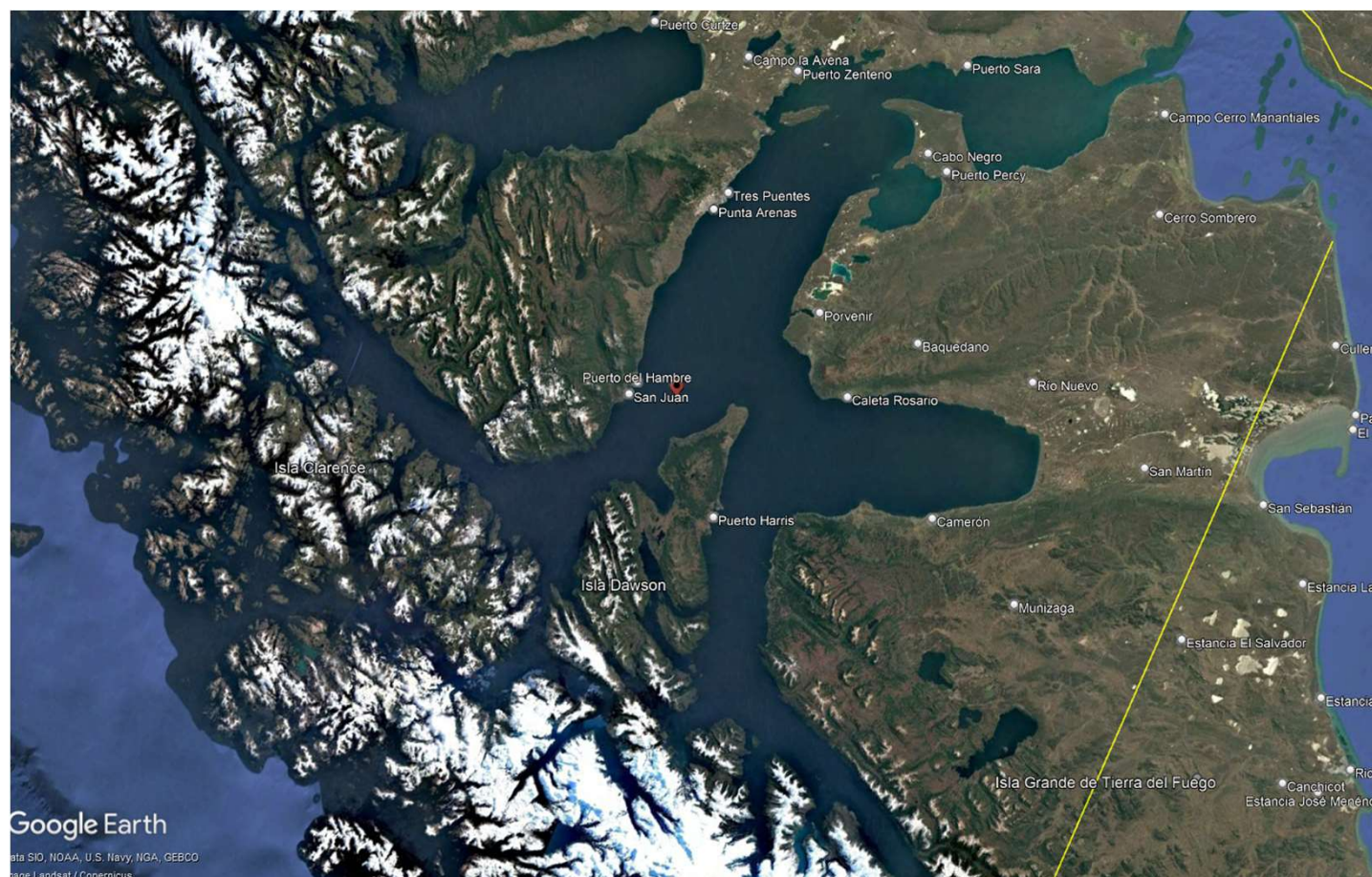
Chile

- Potencial estimado de 240 GW, considerando os 4000 km de costa (MERIC, 2023)
- Destaque para a zona sul, com os fiordes e canais das ilhas
- Desafios técnicos de desenvolvimento de projetar tecnologias que consigam permanecer na água por até 30 anos



Chile

- Potencial estimado de 240 GW, considerando os 4000 km de costa (MERIC, 2023)
- Destaque para a zona sul, com os fiordes e canais das ilhas
- Desafios técnicos de desenvolvimento de projetar tecnologias que consigam permanecer na água por até 30 anos



Fonte: Google Earth

Open Sea Lab (Marine Energy Research & Innovation Center)

- Las Cruces (Chile)
- Enel Green Power
- Energia para acuicultura
- PB3 Power Buoy
- Estudos de comportamento das marés, sensores de pH e salinidade, atividades biológicas



Open Sea Lab (Marine Energy Research & Innovation Center)

- Las Cruces (Chile)
- Enel Green Power
- Energia para aquicultura
- PB3 Power Buoy
- Estudos de comportamento das marés, sensores de pH e temperatura, atividades biológicas



Open Sea Lab (Marine Energy Research & Innovation Center)

- Las Cruces (Chile)
- Enel Green Power
- Energia para aquicultura
- PB3 Power Buoy
- Estudos de comportamento das marés, sensores de pH e temperatura, atividades biológicas



Fonte: Meric, 2025

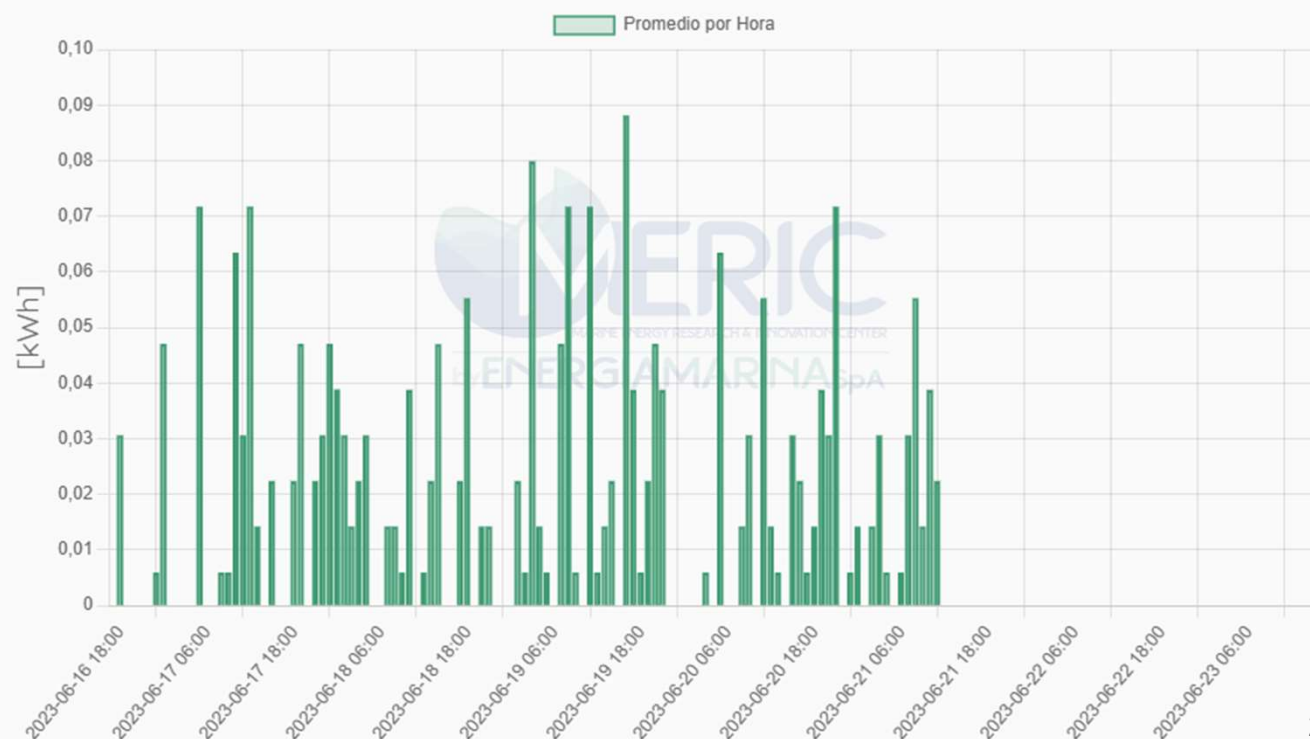
Open Sea Lab (Marine Energy Research & Innovation Center)

- Las Cruces (Chile)
- Enel Green Power
- Energia para aquicultura
- PB3 Power Buoy
- Estudos de comportamento das marés, sensores de pH e temperatura, atividades biológicas

Fonte: Meric, 2025

Energía Producida [kWh] - Últimos 7 días

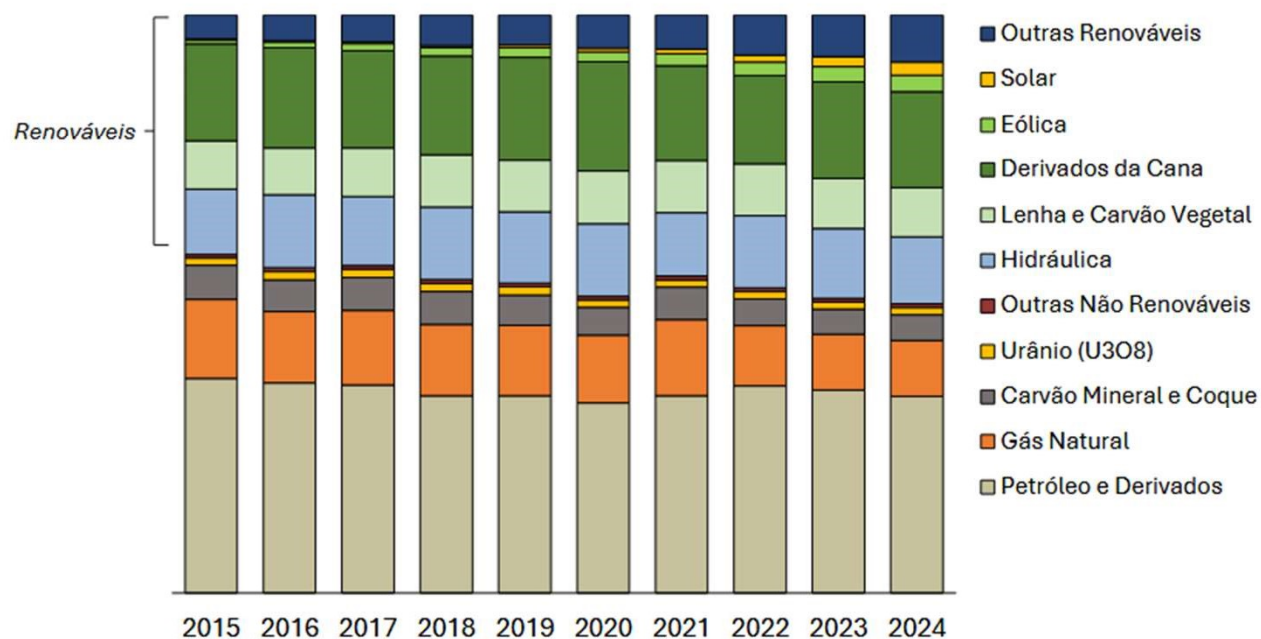
Última Medición Registrada: 2023-06-23 17:00



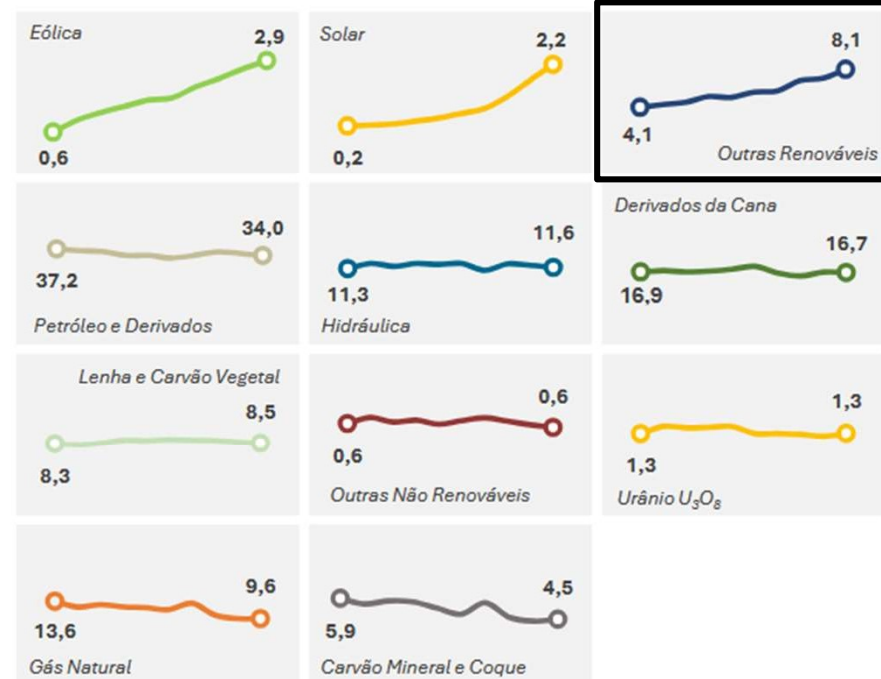
Panorama brasileiro

Produção primária de energia: Brasil

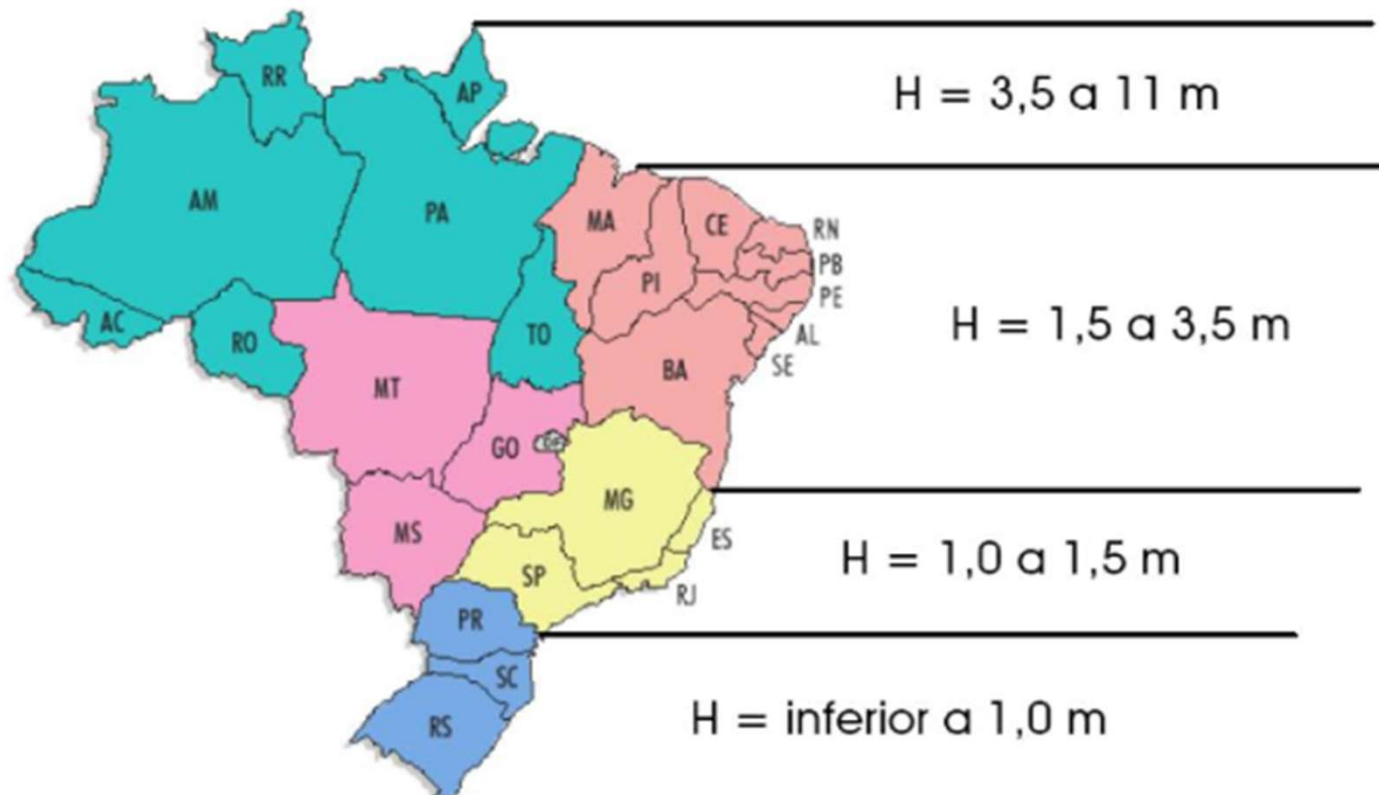
Oferta Interna de Energia 2015-2024



Participação das fontes na OIE (%) entre 2015 e 2024



Potencial maremotriz no Brasil



Valores médios de variação da maré no litoral brasileiro.

Fonte: SAVEDRA, 2016

Potencial maremotriz no Brasil



Legenda: verde = ondas; vermelho = marés

O Nordeste concentra 49 GW, com 30 GW no Sudeste e 35 GW no Sul do país de potencial oceânico total.

Fonte: Rosa, 2013

Aplicações no Brasil – Porto de Pecém CE

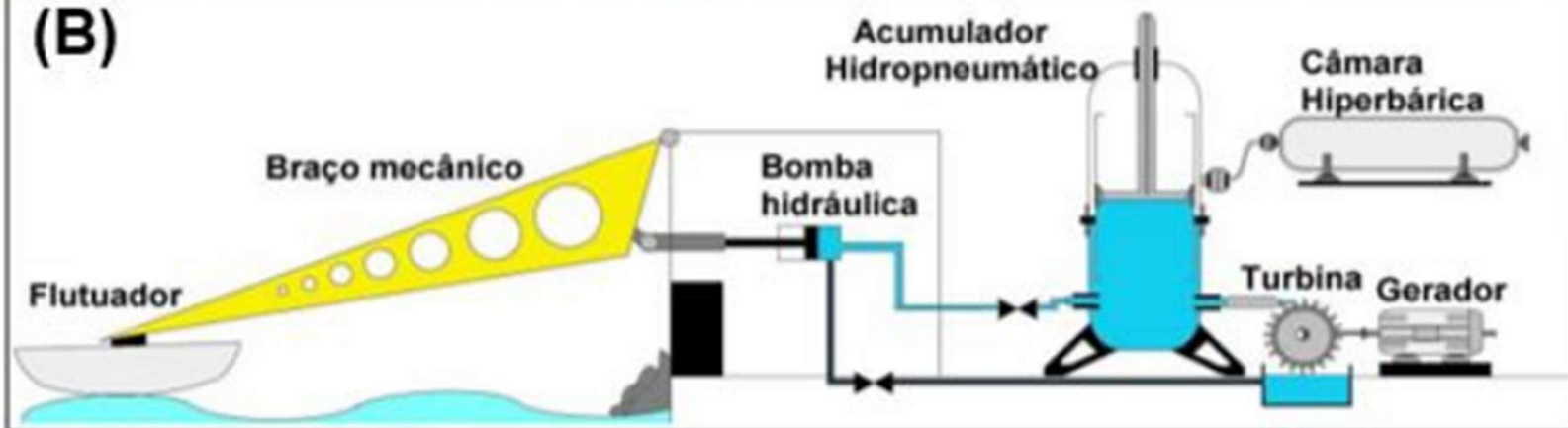
(A)



Capacidade de
até 9 MW

Encerrado por
motivos de custo.

(B)



Perspectivas gerais

- A energia oceânica poderá atingir 10 GW de capacidade instalada em 2030, de acordo com as projeções da IRENA;
- Estima-se que a energia dos mares cresça 33% ao ano no período 2020-2030 para que sua participação no cenário das emissões dos Gases do Efeito Estufa até 2050 seja mais significativa, alcançando 4 TWh em 2025 e 15 TWh em 2030.
- As tecnologias de energia oceânica oferecem alta previsibilidade, tornando-as adequadas para fornecer um abastecimento contínuo de energia. Estas podem ser complementadas com fontes de energia renováveis variáveis, como a eólica e a solar fotovoltaica;
- Entretanto, o mercado está obstruído devido aos custos exorbitantes de instalação das tecnologias;
- A maioria das tecnologias oceânicas ainda estão em fase de protótipo;
- Para tanto, são necessárias **políticas públicas que promovam ciência, tecnologia e inovação** para o mundo alcançar **maiores reduções de custos** visando o aproveitamento em maior escala, momento que o Brasil não está sabendo aproveitar.

Fonte: Jornal da USP, 2022;
IRENA (2020); e
Mordor Intelligence (2024).

Referências bibliográficas



Balanço Energético Nacional, 2025. Disponível em: <<https://dashboard.epe.gov.br/apps/ben/>>.

C. R. Vogel¹ & D. T. Taira² & B. S. Carmo² & G. R. S. Assi³ & R. H. J. Willden¹ & J. R. Meneghini². **Prospects for Tidal Stream Energy in the UK and South America: A Review of Challenges and Opportunities**. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5785486/mod_resource/content/2/Vogel2019_Article_ProspectsForTidalStreamEnergy1.pdf>.

MERIC. Laboratório de Inovação e Pesquisa. MERIC. Disponível em: <https://meric.cl/lab/>. Acesso em: 27 ago. 2025.

MERIC. Nota de prensa: instalación Open Sea Lab en EM MERIC. PUC Chile, 2023. Disponível em: <https://ecim.bio.puc.cl/wp-content/uploads/2023/02/Nota-prensa-instalacioin-Open-Sea-Lab-EM-MERIC.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2025.

IRENA, 2020. Disponível em: <[https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Offshore_Renewables_2020_PT.pdf?la=en&hash=F7DA21EFD1BE3BAC4B926D8E0F25F30CB8E50DD6#:~:text=maneira%20econ%C3%B4mica%2C%20confi%C3%A1vel%2C%20sustent%C3%A1vel%20e%20moderna%20para%20todos.&text=marinhos.&text=535%20megawatts%20\(MW\)%2C%20o,de%202.600%20gigawatts%2C%20GW\).&text=Fonte%3A%20Banco%20de%20dados%20de%20energia%20oce%C3%A2nica%20da%20IRENA.>](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Offshore_Renewables_2020_PT.pdf?la=en&hash=F7DA21EFD1BE3BAC4B926D8E0F25F30CB8E50DD6#:~:text=maneira%20econ%C3%B4mica%2C%20confi%C3%A1vel%2C%20sustent%C3%A1vel%20e%20moderna%20para%20todos.&text=marinhos.&text=535%20megawatts%20(MW)%2C%20o,de%202.600%20gigawatts%2C%20GW).&text=Fonte%3A%20Banco%20de%20dados%20de%20energia%20oce%C3%A2nica%20da%20IRENA.>)>.

Jornal da USP. **A energia vem dos mares**. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/artigos/a-energia-que-vem-dos-mares/>>. Ocean Energy Europe, 2022. <https://www.oceanenergy-europe.eu/wp-content/uploads/2023/03/Ocean-Energy-Key-Trends-and-Statistics-2022.pdf>

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. APROVEITAMENTO DA ENERGIA DOS OCEANOS PARA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE. Estudo Técnico. Consultor Legislativo da Área XII Recursos Minerais, Hídricos e Energéticos. 2017. Disponível em: <https://bd.camara.leg.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32821/aproveitamento_energia_nascimento.pdf>.

Our World in Data, 2023. **Renewable Energy**. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/renewable-energy>>.

PIACENTINI, Patricia. Faltam estratégias no Brasil para gerar energia das marés. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 68, n. 3, p. 11-13, Sept. 2016. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252016000300005&lng=en&nrm=iso>. access on 02 May 2024. <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602016000300005>.

Referências bibliográficas

ROSA, Paula Bastos Garcia, Modelagem dinâmica e otimização de sistemas de conversão de energia das ondas em energia elétrica/PaulaBastos Garcia Rosa. – Rio de Janeiro: **UFRJ/COPPE**, 2013.

OLIVEIRA, Mônica Reis Pires Rodarte. FONTES DE ENERGIA: Um estudo de caso da Usina de ondas de Pécem – CE. **Ouro Preto – MG** 2016.

OCEAN ENERGY EUROPE. Ocean Energy Stats & Trends 2024. Bruxelas: **Ocean Energy Europe**, 2024. Disponível em: <https://www.oceanenergy-europe.eu/wp-content/uploads/2025/04/Ocean-Energy-Stats-Trends-2024.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2025.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY — IRENA. Renewable Capacity Statistics 2024. Abu Dhabi: **IRENA**, 2024. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2024/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2024>. Acesso em: 23 ago. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY — IEA. World Energy Outlook 2023. Paris: **IEA**, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>. Acesso em: 23 ago. 2025.

REN21. Renewables 2024 — Global Status Report (GSR). Paris: **REN21**, 2024. Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>. Acesso em: 23 ago. 2025.

GRAND VIEW RESEARCH. Wave and Tidal Energy Market — Industry Report (resumo/press release). **Grand View Research**, 2024. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wave-tidal-energy-market>. Acesso em: 23 ago. 2025.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION — EIA. Tidal power overview (Sihwa data). Washington, D.C.: EIA (web). Acesso em: 23 ago. 2025.

EDF. La Rance tidal power station — **factsheet / brochure**. **EDF**, 2024. Acesso em: 23 ago. 2025.